2000—2020年黄河流域土地生态质量及其变化趋势预测

刘佳琪[1]， 周璐红[1,2]， 席小雅[1]

（1. 长安大学土地工程学院，陕西 西安 710054；2. 陕西省土地整治重点实验室，陕西 西安 710054）

摘 要：黄河流域生态保护对我国高质量发展具有重要战略意义。从生态本底、生态结构、生态效益、生态胁迫4方面构建土地生态质量评价指标体系，基于理想点法对2000、2005、2010、2015、2020年黄河流域土地生态质量进行评价，结合Slope趋势预测及*F*显著性检验模型对2025年黄河流域土地生态质量变化趋势进行预测，并对预测结果进行冷热点分析，以探究2025年流域土地生态质量发展趋势集聚区。结果表明：（1）2000—2020年黄河流域土地生态质量呈东南部、西南部整体高于东北部、西北部的分布特征。（2）2000—2020年黄河流域土地生态质量整体较低，但呈自东南部向西北部逐渐好转的态势。（3）2000年黄河流域土地生态本底质量较差的中上游区域质量上升空间大，好转现象明显。（4）2025年黄河流域土地生态质量呈上升趋势的区域主要集聚在流域甘肃段东部和中部、宁夏段南部，位于黄土高原生态功能保护区；土地生态质量可能会下降的区域，部分集聚于流域青海段西南部的黄河源生态功能保护区，部分集聚于流域内蒙古段西北部。黄河流域西北部要持续推进生态治理，为区域高质量发展奠定生态基础，流域东南部在加强生态保护和监测的同时继续推进经济发展，实现经济与生态互相促进的良性发展。

关 键 词：土地生态质量；理想点法；Slope趋势预测；黄河流域

文章编号：1000－6060(2023)10－1654－09(1654～1662)

土地生态质量伴随人地关系矛盾而变化，是指一定时空内，土地要素的不同组合方式对人类生存及社会经济可持续发展的适宜程度[1]。过去重发展、轻保护的粗放型经济发展模式，使得人地关系日益紧张，带来了如水资源短缺、生物多样性锐减、土地荒漠化、水土污染等一系列生态环境问题，对社会经济可持续发展造成威胁。土地生态质量评价是探明区域土地生态质量现状、问题并进行针对性施策的基础，对改善生态环境和助力社会经济可持续发展有重要意义。

19世纪中期“土壤成因学说”“矿质营养学说”[2-3]提出后，土地生态学相关领域的研究随之展开，20世纪中期Kelloge提出土地质量并由此延伸出土地生态质量，与土地生态质量相关的内容得到广泛研究[4]。目前，有关土地生态质量的研究主要侧重于生态系统健康评价、生态安全与风险评价、土地生态质量评价、土地生态适宜性评价、土地生态脆弱及敏感性评价等方面。其中，土地生态质量评价基于评价指标体系开展，主要有基于联合国粮农组织(FAO)《可持续土地利用评价纲要》改进的指标体系[5]、基于“压力-状态-响应(PSR)”模型建立的指标体系[6]、基于“经济-环境-社会”模型构建的指标体系[7]3种类型。研究方法有景观模型[8]、理想点模型[9]、综合指数模型[10]、生态足迹模型[11]、物元模型等[12]。如陈震[13]运用理想点模型评价了广安市2000—2015年的土地生态质量，理想点模型具有分析过程精简的同时还能高质量保留指标信息的优点。奥勇等[14]运用冷热点模型探究了黄河流域土地生态质量的空间分异特征，冷热点模型能从统计学角度探究现象的集聚特征。目前，土地生态质量

收稿日期：2022-12-01； **修订日期：**2023-01-29
基金项目：陕西省土地整治重点实验室开放基金(2019-JC02)；长安大学研究生教育教学改革资助项目(300103120050)资助
作者简介：刘佳琪(1998-)，女，硕士研究生，主要从事土地资源管理及评价等方面的研究. E-mail: 2392148385@qq.com
通讯作者：周璐红(1975-)，女，副教授，主要从事土地资源管理及评价等方面的研究. E-mail: zylhzhou@chd.edu.cn

研究多通过构建指标体系，选取不同的指标量化方法，对特定研究区特定研究时段的土地生态质量进行评价、时空变化分析、驱动因素分析等。

2019年9月黄河流域生态保护和高质量发展被上升为重大国家战略[15]。黄河流域作为我国重要的生态屏障之一，对我国社会经济可持续发展及生态安全格局建设有着重大意义。目前，有关黄河流域的研究主要集中在现状评价等方面，对流域土地生态质量未来发展趋势方面的关注较少，故本文在对流域2000—2020年的土地生态质量进行评价及时空分异分析的基础上，对其未来变化趋势进行预测，以探明流域生态薄弱的区域为未来流域生态保护及治理工作的着力方向提供参考，助力黄河流域生态保护和高质量发展。

1 研究区概况

黄河流经我国青海、四川、甘肃、宁夏、内蒙古、陕西、山西、河南、山东9个省区，干流全长5.46×10^3 km，流域面积7.46×10^5 km^2。黄河流域是我国重要的经济地带，流域的黄淮海平原、汾渭平原、河套灌区是农产品主产区，粮食和肉类产量约占全国1/3。黄河流域有着丰富的土地、水能、煤炭、石油、天然气、矿产等资源，被誉为中国的“能源流域”[15]。黄河流域还是我国重要的生态屏障，是连接青藏高原、黄土高原、华北平原的生态廊道，拥有三江源、祁连山等多个国家公园和多个国家生态功能保护区，承担着水土保持、防风固沙、物种资源、水源涵养等多种生态功能。

2 数据与方法

2.1 数据来源与处理

本研究的降水、温度、归一化植被指数(NDVI)、植被净初级生产力(NPP)、土地利用、国内生产总值(GDP)空间网格、人口及夜间灯光数据主要来源于中国科学院资源环境科学与数据中心(https://www.resdc.cn/)，部分降水和温度数据来源于美国国家气候数据中心(https://www.ncdc.noaa.gov/)，部分人口数据来源于WorldPop(https://www.worldpop.org/)，部分夜间灯光数据来源于地球观测组(https://eogdata.mines.edu/)；高程数据来源于地理空间数据云(http://www.gscloud.cn/)。

高程数据分辨率为30 m，气象数据为站点数据，其余数据分辨率为1 km。运用ArcGIS对空间数据进行统一投影转换，并用黄河流域范围数据进行按掩膜提取处理；运用栅格计算器对高程数据进行地形起伏度计算并通过空间重采样获得1 km的地形起伏数据；对气象站点数据进行空间插值分析并输出分辨率为1 km的栅格数据；根据谢高地提出的“中国陆地生态系统单位面积生态服务价值当量表”将土地利用数据重分类，参考各类用地生态服务价值量对重分类数据进行赋值，得到生态服务价值数据；人口密度和GDP数据选用的是1 km的空间网格数据。本文最终以1 km×1 km栅格单元为评价单元，运用栅格计算器对各类空间数据进行加权求和完成土地生态质量评价。

2.2 研究方法

2.2.1 理想点法 理想点法是将多属性决策的每个备择方案视为多维空间的一个点，按各点到“正理想点”和“负理想点”的距离来确定方案优劣排序的一种决策方法[13]。本研究基于理想点法的土地生态质量评价实现过程如下：

(1) 数据正向化及标准化处理。公式如下：

$$B=\frac{X-X_{\min}}{X_{\max}-X_{\min}} \tag{1}$$

$$B^{-}=1-\frac{X-X_{\min}}{X_{\max}-X_{\min}} \tag{2}$$

式中：B为极大型指标处理方式；B^{-}为极小型指标处理方式；X为指标值；$X_{\min}$为指标最小值；$X_{\max}$为指标最大值。

(2) 计算各指标与正、负理想值的欧式距离。公式如下：

$$d_{ij}^{+}=\sqrt{(Z_j^{+}-Z_{ij})^2} \tag{3}$$

$$d_{ij}^{-}=\sqrt{(Z_j^{-}-Z_{ij})^2} \tag{4}$$

式中：d_{ij}^{+}为第i个评价单元的第j项评价指标值(Z_{ij})与第j项评价指标正理想值的欧式距离；d_{ij}^{-}为第i个评价单元的第j项评价指标值(Z_{ij})与第j项评价指标负理想值的欧式距离；Z_j^{+}和Z_j^{-}分别为第j个评价指标的正、负理想值，经过数据正向化及标准化处理的指标，正理想值为最大值1，负理想值为最小值0。

(3) 计算理想值向量及综合理想值。公式如下：

$$S_{ij}=\frac{d_{ij}^{-}}{d_{ij}^{+}+d_{ij}^{-}} \tag{5}$$

$$\alpha_{ij}=(S_{i1},S_{i2},S_{i3},\cdots,S_{ij}) \tag{6}$$

$$W=\sum_{i=1}^{n}\beta_1\alpha_{i1}+\sum_{i=1}^{n}\beta_2\alpha_{i2}+\cdots+\sum_{i=1}^{n}\beta_j\alpha_{ij} \tag{7}$$

式中：S_{ij} 为第i个栅格在评价指标j中的最终得分；α_{ij} 为第i个栅格评价指标j的理想值向量；β_j 为评价指标j的权重值；W为土地生态质量综合理想值，W越接近1，说明土地生态质量越好，土地各要素的组合方式对人类社会经济可持续发展的适宜程度越高。

2.2.2 Slope趋势预测及F显著性检验法 Slope趋势分析法是通过对随时间变化的变量进行线性回归分析来预测其变化趋势的方法[16-18]。运用Slope模型进行趋势分析需在被分析量与时间的一元线性回归方程拟合显著的前提下才能进行。F检验法对变化趋势进行显著性检验，表示趋势变化置信度的高低[19]。本研究运用Slope趋势分析法对研究区2025年土地生态质量变化趋势进行预测并进行F显著性检验，实现过程如下：

（1）Slope趋势预测

运用SPSS分析软件对研究区2000、2005、2010、2015、2020年土地生态质量均值与时间进行一元线性回归方程拟合，拟合方程显著则进行Slope趋势分析。采用一元线性回归分析和最小二乘法，逐像元拟合近n年每个评价单元土地生态质量的变化趋势Slope，公式如下：

$$\text{Slope}=\frac{n\times\sum_{i=1}^{n}x_iy_i-\left(\sum_{i=1}^{n}x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n}y_i\right)}{n\times\sum_{i=1}^{n}{x_i}^2-\left(\sum_{i=1}^{n}x_i\right)^2} \tag{8}$$

式中：x_i 为第i年的年份数值；y_i 为第i年的土地生态质量；n为年份数；当slope>0，呈上升趋势；当slope<0，呈下降趋势。

（2）F显著性检验

对土地生态质量变化趋势进行F显著性分析，用于表示趋势变化置信度的高低，公式如下：

$$y_i^*=[\text{avg}(y)-\text{slope}\times\text{avg}(x)]+\text{slope}\times x_i \tag{9}$$

$$U=\sum_{i=1}^{n}\left[y_i^*-\text{avg}(y)\right]^2 \tag{10}$$

$$Q=\sum_{i=1}^{n}(y_i-y_i^*)^2 \tag{11}$$

$$F=U\times\frac{n-2}{Q} \tag{12}$$

式中：y_i^* 为土地生态质量拟合回归值；avg(y)和avg(x)为2000—2020年土地生态质量平均值和年份平均值；U为误差平方和；Q为回归平方和；F为显著性检验结果。查询F分布临界值表得到中断值，以中断值对F进行重分类，完成土地生态质量变化趋势显著性检验。

2.2.3 冷热点分析法 冷热点分析通过建立空间关联局域指标，探索地理属性的局部空间聚类属性，判断其是否存在高值或低值集聚[14]。要获得具有统计学意义的土地生态质量变化趋势空间集聚区，需对要素进行冷热点分析。进行冷热点分析的前提是目标要素具有空间聚类特征，因此在进行冷热点分析之前需要对目标要素进行空间自相关分析，判断目标要素在全局上的分布是否具有聚类特征。

本研究借助ArcGIS采用Moran's I方法对土地生态质量变化趋势预测结果进行空间自相关分析，判断其在全局上是否具备聚类特征，其中Moran's I指数值为正表示数据有聚类趋势，为负表示数据有离散趋势，参照相关研究[20]，数据具有聚类趋势则可进一步借助ArcGIS完成冷热点分析，冷点表示低值集聚区，热点表示高值集聚区。

2.3 土地生态质量评价

本文基于土地生态学、景观生态学等理论，在参考已有研究成果[6,13-14]的基础上，从生态本底、结构、效益、胁迫4个维度选取评价指标并确定指标性质。生态本底反映黄河流域气候、地形、植被等土地本底情况；生态结构体现人类活动对土地生态的影响；生态效益反映土地系统对人类社会有益影响；生态胁迫揭示土地利用过程中产生的生态压力。本文结合特尔斐法和层次分析法完成指标赋权（表1）。

借助栅格计算器执行式（1）到式（7）的计算，完成2000、2005、2010、2015、2020年黄河流域土地生态质量评价。为使土地生态质量在时间上可比，运用自然断点法将2000年黄河流域土地生态质量综合理想值（W）划分为高（$W\geq0.59$）、较高（$W\in[0.50\sim0.59)$）、中等（$W\in[0.43\sim0.50)$）、较低（$W\in[0.37\sim0.43)$）、低（$W<0.37$）5个级别，并以此为基础划分其余年份的级别，获取研究区2000—2020年的土地生态质量变化数据。

3 结果与分析

3.1 土地生态质量空间分布特征

黄河流域土地生态质量呈现东南部、西南部整

表1 黄河流域土地生态质量评价指标体系

Tab. 1 Evaluation index system of land ecological quality in the Yellow River Basin

目标层	准则层(权重)	指标层(权重)	指标性质
黄河流域土地生态质量评价	生态本底(0.375)	降水量(0.0727)	+
		温度(0.1111)	+
		地形起伏(0.0174)	-
		NDVI(0.0869)	+
		NPP(0.0869)	+
	生态结构(0.375)	林地比例(0.1734)	+
		草地比例(0.0732)	+
		建设用地比例(0.0732)	-
		水体比例(0.0276)	+
		湿地比例(0.0276)	+
	生态效益(0.125)	生态服务价值(0.125)	+
	生态胁迫(0.125)	人口密度(0.075)	-
		夜间灯光(0.025)	-
		GDP(0.025)	-

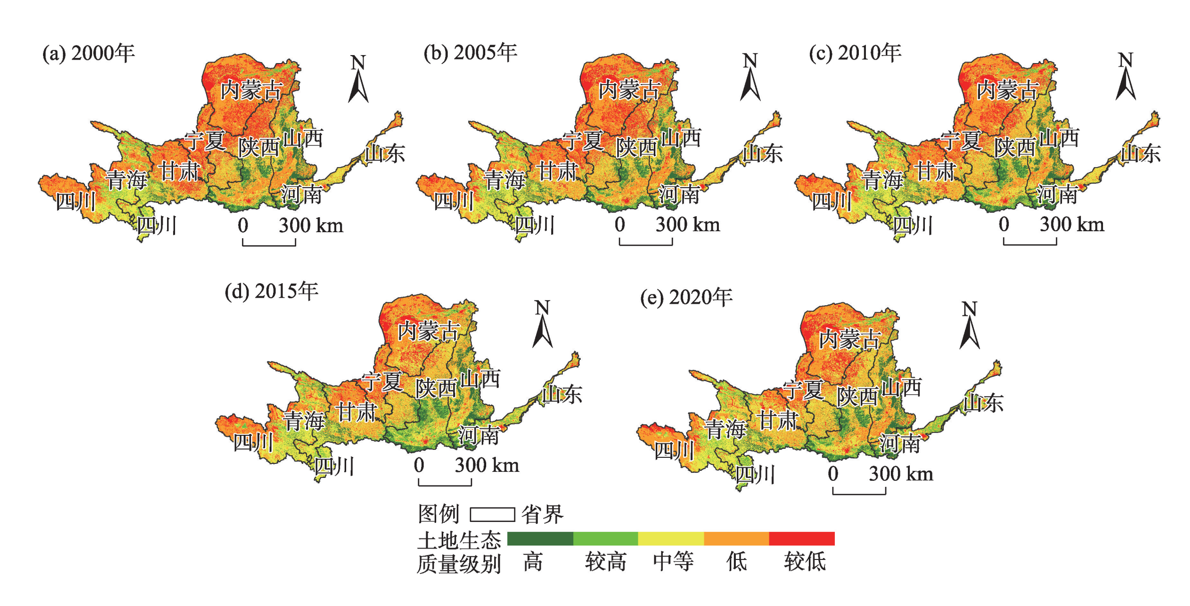
注："+"表示指标为极大型；"-"表示指标为极小型；NDVI为归一化植被指数；NPP为植被净初级生产力；GDP为国内生产总值。

体高于东北部、西北部的空间分布特点，以及东南部向西北部逐渐好转的空间变化趋势(图1)。2020年土地生态质量较差区域主要集中在青海段西部、甘肃段北部、宁夏段、内蒙古段。黄河流域东南部多为半湿润气候，自然禀赋较好，区域生态和经济协调发展水平较高，而西北部处于干旱与半干旱地区，气候条件较恶劣，自然禀赋较差，生态和经济发展水平较低，导致东南部土地生态质量始终好于西北部[21]。绿水青山就是金山银山，自1997年党中央提出要"再造一个山川秀美的西北地区"，在黄河流域实施退耕还林还草、封山绿化等政策，黄河流域水土流失、土地荒漠化等得到有效治理，与东南部相邻的区域土地生态质量率先得到好转[22]。

2000—2020年黄河流域土地生态质量级别为高和较高的面积占比总和未超过20%，而级别为较低和低的面积占比总和大于40%，流域整体土地生态质量不高，但土地生态质量级别为高、较高、中等的面积占比分别增长了2%、3%和9%，级别为较低、低的面积占比分别下降了6%和7%，土地生态质量逐渐好转(图2)。黄河上游地处干旱与半干旱区，中游多为黄土地貌加之牧民过度放牧、湿地开沟排水等不合理人类活动造成流域出现草场退化、土地沙化、水土流失等生态环境问题，导致流域本底土地生态质量较差。但是，经过多年产业结构升级、环境污染及农林水资源治理，流域经济发展与生态环境的耦合协调发展水平上升，土地生态质量得到逐渐改善[23]。

3.2 土地生态质量时序变化特征

为探究转移变化规律，本文借助ENVI软件分析获得2000—2005、2005—2010、2010—2015、2015—2020年4个时段的土地生态质量转移矩阵(表2)，转移面积占比指转移面积占该级土地生态质量总



注：该图基于自然资源部地图技术审查中心下载的审图号为GS(2019)1822号的标准地图制作，底图边界无修改。下同。

图1 2000—2020年黄河流域土地生态质量分布

Fig. 1 Land ecological quality distribution of the Yellow River Basin from 2000 to 2020

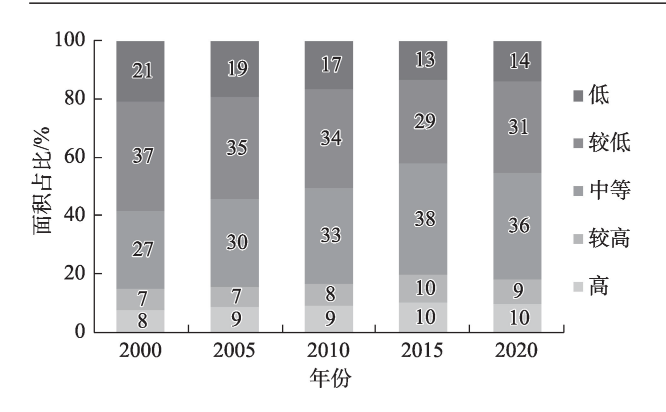


图2 2000—2020年黄河流域各级土地生态质量面积占比

Fig. 2 Proportion of land ecological quality area at all levels in the Yellow River Basin from 2000 to 2020

面积的占比，用于解释各级土地生态质量发生好转及恶化的情况。

由表2可知，2000—2005、2005—2010、2010—2015年3个时段内，黄河流域土地生态质量级别为中等和高的转移占比少，变化不活跃；3个时段内级别发生提升的较低和低级别的占比总和分别约为50%、34%、56%，提升占比大，土地生态质量好转主要归功于低和较低级别。2015—2020年有49.21%高级别、54.03%较高级别、33.02%中等级分别向低水平级别转移，土地生态质量降低，需要对该级别区域生态环境、社会经济及其两者的协调发展情况进行监测管理；有52%中等级未发生转移，土地生态质量较稳定，但级别提升较为困难(如只有6.44%和8.54%的中等级转为高级别和较高级别)；有48.15%低级别和32.68%较低级别分别向高水平级别转移，说明低和较低级别区域的土地生态质量上

表2 2000—2020年黄河流域各级土地生态质量转移面积占比

Tab. 2 Proportion of land ecological quality transfer area in the Yellow River Basin from 2000 to 2020 /%

2000年土地生态质量级别	2005年土地生态质量级别					转移总和	质量提升	质量降低
	高	较高	中等	较低	低			
高	83.51	5.00	6.93	4.33	0.23	16.49	–	16.49
较高	16.88	57.79	14.85	6.66	3.82	42.21	16.88	25.33
中等	3.00	5.28	77.51	10.06	4.15	22.49	8.28	14.21
较低	1.07	1.82	16.56	70.85	9.70	29.15	19.45	9.70
低	0.09	2.01	7.66	21.46	68.78	31.22	31.22	–
2005年土地生态质量级别	2010年土地生态质量级别					转移总和	质量提升	质量降低
	高	较高	中等	较低	低			
高	96.35	3.59	0.03	0.01	0.02	3.65	–	3.65
较高	10.96	86.49	2.28	0.21	0.06	13.51	10.96	2.55
中等	0.03	4.17	92.33	3.41	0.06	7.67	4.20	3.47
较低	0.03	0.07	14.50	83.96	1.44	16.04	14.60	1.44
低	0.00	0.09	0.24	18.23	81.44	18.56	18.56	–
2010年土地生态质量级别	2015年土地生态质量级别					转移总和	质量提升	质量降低
	高	较高	中等	较低	低			
高	96.83	3.08	0.05	0.01	0.03	3.17	–	3.17
较高	19.02	78.87	1.73	0.13	0.25	21.13	19.02	2.11
中等	0.08	9.60	87.41	2.66	0.25	12.59	9.68	2.91
较低	0.02	0.67	28.08	69.76	1.47	30.24	28.77	1.47
低	0.00	0.25	0.67	26.47	72.61	27.39	27.39	–
2015年土地生态质量级别	2020年土地生态质量级别					转移总和	质量提升	质量降低
	高	较高	中等	较低	低			
高	50.79	13.51	23.99	10.48	1.23	49.21	–	49.21
较高	14.55	31.42	37.12	12.75	4.16	68.58	14.55	54.03
中等	6.44	8.54	52.00	26.39	6.63	48.00	14.98	33.02
较低	2.42	2.94	27.32	52.85	14.47	47.15	32.68	14.47
低	0.46	2.28	18.03	27.38	51.85	48.15	48.15	–

注：“–”表示土地生态质量级别变化情况不存在。

升空间大，生态治理在短时间内见效较快。

3.3 土地生态质量变化趋势预测

3.3.1 基于Slope的土地生态质量变化趋势预测 以“时间”作为自变量，“土地生态质量”作为因变量，利用SPSS分析软件进行线性回归分析，结果显示拟合优度R^2=0.714，表示“时间”可以解释71.4%的“土地生态质量”，拟合度高；显著性值sig=0.045，表示“时间”在5%水平下对“土地生态质量”有显著作用。时间与土地生态质量之间存在较强的线性关系，可用Slope模型对研究区土地生态质量变化趋势进行预测，借助栅格计算器执行式(8)的计算形成研究区2025年土地生态质量Slope趋势预测图(图3a)。

3.3.2 基于F检验的Slope预测结果显著性检验 对Slope趋势预测结果进行F显著性检验，用于表示趋势变化置信度的高低。借助栅格计算器执行式(9)至式(12)的计算完成F检验，本研究中样本数即土地生态质量研究年份数n=5，因此F的自由度为F(1, 3)。当容错率α=0.05时，查询F分布临界值表得到$F_{0.05}$(1, 3)=10.13，以10.13为中断值对F显著性检验结果进行重分类(图3b)，当F显著性检验结果小于10.13时，表示趋势变化在5%水平下显著，大于10.13时，表示趋势变化在5%水平下不显著。

3.3.3 基于冷热点模型的土地生态质量变化趋势空间集聚性 将Slope趋势预测结果与其F显著性检验结果进行叠加分析，得到通过检验的2025年土地生态质量变化趋势结果(图4a)，结果显示，2025年约70%的黄河流域土地生态质量将呈上升趋势(其中10%显著上升，60%不显著上升)，约30%呈下降趋势(其中29%不显著下降，1%显著下降)。

借助ArcGIS对2025年黄河流域土地生态质量

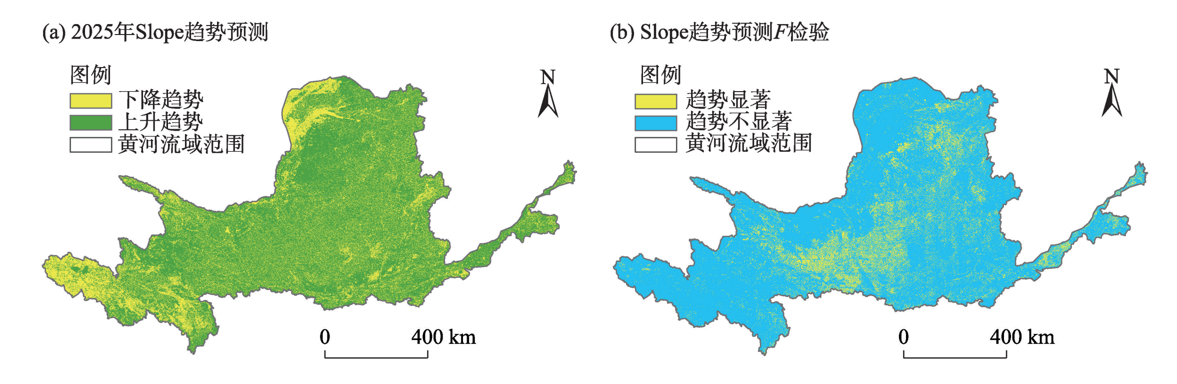


图3 2025年黄河流域土地生态质量Slope趋势预测及其F检验分布

Fig. 3 Slope trend prediction and F-test distribution of land ecological quality in the Yellow River Basin in 2025

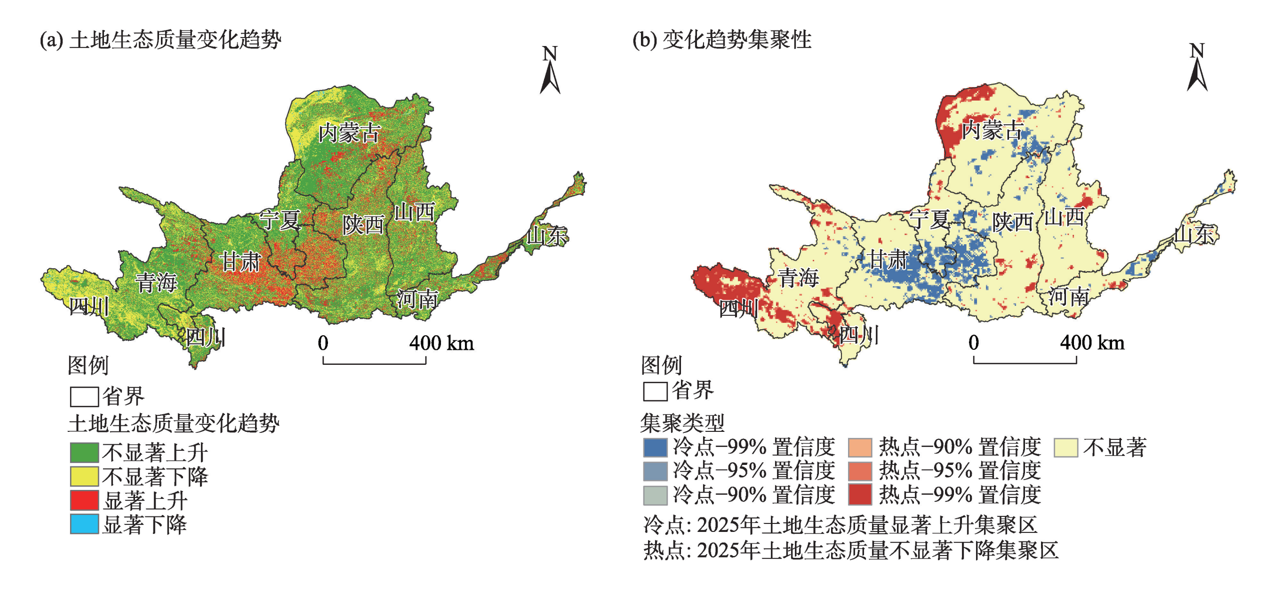


图4 2025年黄河流域土地生态质量变化趋势集聚性分布

Fig. 4 Clustered distribution of land ecological quality change trends in the Yellow River Basin in 2025

变化趋势进行Moran's *I*全局空间自相关分析显示Moran's *I*为0.022,显著性小于0.01,表明数据具有显著聚类趋势,可进行冷热点分析。2025年仅有1%的黄河流域土地生态质量呈显著下降趋势,面积占比小,研究意义不大,虽有60%的区域呈不显著上升趋势,但变化趋势无太大研究意义。因此,本研究将显著上升趋势数据赋予低值、不显著下降趋势数据赋予高值,不显著上升和显著下降数据赋予中间值,对新赋值数据以5 km×5 km渔网进行空间统计,借助ArcGIS对渔网数据进行冷热点分析(图4b),以探究2025年黄河流域土地生态质量变化趋势的空间集聚性分布特征。

2025年土地生态质量显著上升的集聚区主要分布在甘肃段东部和中部、宁夏段南部,主要位于黄土高原生态功能保护区,多年来被重点保护和管理,土地生态质量上升态势稳定;2025年土地生态质量不显著下降的集聚区部分分布于青海段西南部,位于黄河源生态功能保护区,部分分布于内蒙古段西北部,黄河源区和内蒙古段西北部自然禀赋差,使得改善并维持区域土地生态质量较为困难(图4b)。

4 讨论

本文以5 a为一间隔运用理想点法对黄河流域2000—2020年的土地生态质量进行评价,评价结果显示,黄河流域2000—2020年土地生态质量逐渐改善,且呈现东南、西南部高于东北、西北部的分布特征,与奥勇等[14]、高志远等[23]的相关研究基本一致。自新中国成立以来,黄河流域生态保护和治理经历了洪涝灾害综合治理、环境污染及水土流失治理、流域生态文明整体推进3个阶段,经过多年努力流域土地生态质量逐渐好转[22]。黄河流域西北部海拔高,多草地,土地利用结构多样性差,生境抗干扰能力低,加之区域经济发展水平低,难以实现产业结构高级化、合理化,以提高生态效率减少资源型产品的消耗,造成流域西北部土地生态质量始终低于东南部[21-22]。以上研究多是关于黄河流域土地生态质量时空分异及驱动因素等方面的研究,本文在时空分异研究的基础上进一步运用Slope趋势预测和冷热点模型对研究区2025年的土地生态质量变化趋势进行预测和集聚性分析,指出2025年流域青海段西南部的黄河源生态功能保护区及流域内蒙古段西北部的土地生态质量可能会连片下降,为未来流域生态保护及治理工作的重点方向提供参考。

土地生态质量受社会、经济、环境等多方因素的影响,目前评价指标体系还未统一,本文选取指标虽具一定代表性但仍不全面,比如考虑了GDP指标对土地生态系统的胁迫作用,但未考虑其正向促进作用,水土污染、流失等因素也未纳入研究,未来可考虑进一步细化和丰富指标体系。此外,运用Slope模型进行趋势预测时可考虑增加研究年份以加强数据基础,提高预测结果可靠性,在评价及预测的基础上可进一步对驱动因素进行定量研究以提高研究的实践性。

5 结论

本文在2000—2020年黄河流域土地生态质量评价的基础上对流域2025年的土地生态质量变化趋势进行预测和集聚性分布分析,得出以下结论:

(1) 2000—2020年黄河流域东南部、西南部土地生态质量整体高于东北部和西北部。土地生态质量较好的区域主要分布在流域的山东段、河南段、山西段东部、甘肃段西南部、陕西段的东、中、南部及青海段东、中、南部;土地生态质量较差的区域主要分布在流域青海段的西部、甘肃段、宁夏段及内蒙古段。

(2) 2000—2020年黄河流域土地生态质量级别为高、较高的面积占比之和未超过20%,土地生态质量整体较低,但呈好转态势。在空间上表现为东南部向西北部逐渐好转,在数量上表现为土地生态质量级别为高、较高、中等的面积占比分别增长了2%、3%和9%,级别为较低、低的面积占比分别下降了6%和7%。

(3) 2000—2020年黄河流域土地生态质量的整体好转主要归功于土地生态本底质量较差的黄河中上游,这些区域土地生态质量上升空间大,治理成效相对显著;土地生态质量较好的黄河下游区域,土地生态质量相对稳定,质量提升所需条件及时间较为严格,提升较为困难。

(4) 2025年黄河流域土地生态质量显著上升的集聚区主要分布在流域甘肃段东部和中部、宁夏段

南部，位于黄土高原生态功能保护区，经多年重点保护、治理和管理，区域土地生态质量好转态势稳定。土地生态质量不显著下降的集聚区，部分分布于流域青海段西南部的黄河源生态功能保护区，部分分布于流域内蒙古段西北部，这些区域土地生态质量未来有连片下降的可能，需加强保护和监管。

参考文献(References)

[1] 彭慧, 昌亭, 薛红琳, 等. 土地生态评价研究综述[J]. 国土资源科技管理, 2013, 30(6): 28-35. [Peng Hui, Chang Ting, Xue Honglin, et al. Review of land ecological evaluation research[J]. Scientific and Technological Mannagment of Land and Resources, 2013, 30(6): 28-35.]

[2] 陈士银. 土地生态评价研究进展[J]. 农业开发与装备, 2020(2): 42, 52. [Chen Shiyin. Research progress on evaluation for land ecosystem[J]. Agricultural Development and Equipment, 2020(2): 42, 52.]

[3] 张正华, 吴发启, 王健, 等. 土地生态评价研究进展[J]. 西北林学院学报, 2005, 20(4): 104-107, 111. [Zhang Zhenghua, Wu Faqi, Wang Jian, et al. Research progress on evaluation for land ecosystem[J]. Journal of Northwest Forestry University, 2005, 20(4): 104-107, 111.]

[4] 高晓媚. 毛乌素沙地采煤塌陷区土地生态质量变化及评价研究[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2021. [Gao Xiaomei. Study on the change and evaluation of land ecological quality in coal mining subsidence area of Mu Us Sandy Land[D]. Hohhot: Inner Mongolia Normal university, 2021.]

[5] Messing I, Fagerstrom M H H, Chen L D, et al. Criteria for land suitability evaluation in a small catchment on the Loess Plateau in China[J]. Catena, 2003, 54(1-2): 215-234.

[6] 麻小婷, 南灵, 何岩岩. 基于云模型的土地生态质量评价及障碍因素诊断——以陕西省榆林市为例[J]. 江苏农业科学, 2018, 46(24): 345-351. [Ma Xiaoting, Nan Ling, He Yanyan. Evaluation of land ecological quality and diagnosis of obstacle factors based on cloud model: Taking Yulin of Shaanxi Province as an example [J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2018, 46(24): 345-351.]

[7] 田艳芳, 周虹宏. 上海市城市生态环境质量综合评价[J]. 生态经济, 2021, 37(6): 185-192. [Tian Yanfang, Zhou Honghong. Comprehensive evaluation of urban ecological environment quality in Shanghai[J]. Ecological Economy, 2021, 37(6): 185-192.]

[8] 巴音达拉. 基于熵值法和景观模型的精河县生态环境质量评价及预测研究[D]. 乌鲁木齐: 新疆大学, 2008. [Ba Yindala. Study on the quality assessment of ecological environment and prediction in Jinghe based on entropy-righe method and landscape model [D]. Urumqi: Xinjiang University, 2008.]

[9] 杨卫泽, 韩之俊. 基于TOPSIS的宜居生态市评价研究[J]. 环境保护, 2008(14): 31-32. [Yang Weize, Han Zhijun. Evaluation of livable eco-city based on TOPSIS[J]. Environmental Protection, 2008(14): 31-32.]

[10] 徐美, 朱翔, 刘春腊. 基于RBF的湖南省土地生态安全动态预警[J]. 地理学报, 2012, 67(10): 1411-1422. [Xu Mei, Zhu Xiang, Liu Chunla. Early-warning of land ecological security in Hunan Province based on RBF[J]. Acta Geographica Sinica, 2012, 67 (10): 1411-1422.]

[11] 宋艳华, 王令超, 王自威, 等. 基于开放式生态足迹模型的土地生态承载力研究——以黄河河南段地区为例[J]. 江苏农业科学, 2021, 49(22): 210-218. [Song Yanhua, Wang Lingchao, Wang Ziwei, et al. Study on land ecological carrying capacity based on open ecological footprint model: Taking coastal area of Yellow River in Henan Province as an example[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2021, 49(22): 210-218.]

[12] 余敦, 陈文波. 基于物元模型的鄱阳湖生态经济区土地生态安全评价[J]. 应用生态学报, 2011, 22(10): 2681-2685. [Yu Dun, Chen Wenbo. Land ecological safety in Poyang Lake eco-economic zone: An evaluation based on matter-element model[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2011, 22(10): 2681-2685.]

[13] 陈震. 土地生态质量遥感评价模型与方法研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2020. [Chen Zhen. Study on remote assessment model and method of land ecological quality: A case study of the city of Guang'an[D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2020.]

[14] 奥勇, 蒋岭峰, 白召弟, 等. 基于格网GIS的黄河流域土地生态质量综合评价[J]. 干旱区地理, 2022, 45(1): 164-175. [Ao Yong, Jiang Lingfeng, Bai Zhaodi, et al. Comprehensive evaluation of land ecological quality in the Yellow River Basin based on Grid-GIS[J]. Arid Land Geography, 2022, 45(1): 164-175.]

[15] 习近平. 在黄河流域生态保护和高质量发展座谈会上的讲话[J]. 水资源开发与管理, 2019, 46(11): 1-4. [Xi Jinping. Speech at the symposium on ecological and quality development in the Yellow River Basin[J]. Water Resources Development and Management, 2019, 46(11): 1-4.]

[16] 王文川, 薛沛, 刘素华. 1999—2018年河南省植被覆盖时空演变分析[J]. 水土保持研究, 2022, 29(2): 243-248, 264. [Wang Wenchuan, Xue Pei, Liu Suhua. Spatiotemporal evolution of vegetation cover in Henan Province from 1999 to 2018[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2022, 29(2): 243-248, 264.]

[17] Qin W M, Liu Y, Wang L C, et al. Characteristic and driving factors of aerosol optical depth over mainland China during 1980—2017[J]. Remote Sensing, 2018, 10(7): 1064, doi: 10.3390/rs10071064.

[18] 陆云波, 王伦澈, 牛自耕, 等. 2000—2017年中国区域地表反照率变化及其影响因子[J]. 地理研究, 2022, 41(2): 562-579. [Lu Yunbo, Wang Lunzhe, Niu Zigeng, et al. Variations of land surface albedo and its influencing factors in China from 2000 to 2017[J]. Geographical Research, 2022, 41(2): 562-579.]

[19] 吴炳伦. 深圳市植被覆盖度动态变化及驱动力分析[D]. 长沙:

中南林业科技大学, 2020. [Wu Binglun. Analysis of dynamic changes and driving forces of vegetation fractional coverage in Shenzhen[D]. Changsha: Central South University of Forestry and Techology, 2020.]

[20] 马世五, 谢德体, 张孝成, 等. 三峡库区生态敏感区土地生态安全预警测度与时空演变——以重庆市万州区为例[J]. 生态学报, 2017, 37(24): 8227−8240. [Ma Shiwu, Xie Deti, Zhang Xiaocheng, et al. Measures of land ecological security early warning and its spatial-temporal evolution in the ecologically sensitive area of the Three Gorges Reservoir area: A case study of Wanzhou District, Chongqing City[J]. Acta Ecologica Sinica, 2017, 37(24): 8227−8240.]

[21] 王晓蕾, 石守海. 基于GEE的黄河流域植被时空变化及其地形效应研究[J]. 地球信息科学学报, 2022, 24(6): 1087−1098. [Wang Xiaolei, Shi Shouhai. Spatio-temporal changes of vegetation in the Yellow River Basin and related effect of landform based on GEE[J]. Journal of Geo-information Science, 2022, 24(6): 1087−1098.]

[22] 董旭, 郭可佳, 杨亚丽, 等. 黄河流域生态保护和高质量发展: 过去、现在与未来[J]. 郑州航空工业管理学院学报, 2022, 40(3): 55−63. [Dong Xu, Guo Kejia, Yang Yali, et al. Ecological conservation and high-quality development of the Yellow River Basin: Past, present and future[J]. Journal of Zhengzhou Institute of Aeronautical Industry Management, 2022, 40(3): 55−63.]

[23] 高志远, 程柳, 张小红. 黄河流域经济发展-生态环境-水资源耦合协调水平评价[J]. 统计与决策, 2022, 38(9): 123−127. [Gao Zhiyuan, Cheng Liu, Zhang Xiaohong. Evaluation of coupling coordination level of economic development, ecological development and water resources in the Yellow River Basin[J]. Statistics & Decision, 2022, 38(9): 123−127.]

Land ecological quality and its change trend prediction in the Yellow River Basin from 2000 to 2020

LIU Jiaqi[1], ZHOU Luhong[1,2], XI Xiaoya[1]

(1. School of Land Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China; 2. Key Laboratory of Land Improvement of Shaanxi Province, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract: This paper constructs an index system for evaluating land ecological quality in the Yellow River Basin in terms of ecological basis, ecological structures, ecological benefits, ecological stresses, and evaluates the land ecological quality of the basin from 2000 to 2020 by using the ideal point method. On this basis, we combined the Slope trend prediction model and F significance test model to predict the change trends of land ecological quality in the basin in 2025, and analyzed the clustering characteristics of the predicted change trends. The results show that: (1) The land ecological quality in the southeastern and southwestern parts of the Yellow River Basin is higher than that in the northeastern and northwestern parts. (2) The overall land ecological quality of the Yellow River Basin is low from 2000 to 2020, but shows a gradual improvement from the southeast to the northwest. (3) The quality of the middle and upper reaches of the Yellow River Basin, where the background land ecological quality is poor, has much room for improvement. (4) Land ecological quality in the Yellow River Basin may rise in 2025 is mainly concentrated in the eastern and central part of the Gansu section and the southern part of the Ningxia section of the basin, located in the Loess Plateau ecological function protection zone. The cases where the ecological quality of land is likely to decline are partly clustered in the southwestern part of the Qinghai section of the basin in the Yellow River source ecological function reserve, and partly in the northwestern part of the Inner Mongolia section of the basin. The northwestern part of the Yellow River Basin should continue to promote ecological treatment, laying the ecological foundation for regional high-quality development, and the southeastern part of the basin should continue to promote economic development while strengthening ecological protection and monitoring, so as to achieve the benign development of mutual promotion of economy and ecology.

Key words: land ecological quality; ideal point method; Slope trend prediction model; the Yellow River Basin